DOI:10.11931/guihaia.gxzw201812059

土壤镉胁迫对田七体内镉分布及富集特性影响[1]

李素霞[1], 陈玉萍[1], 韦司棋[2], 林俊良[1], 何晓诗[1], 农叶弯[1], 齐媛[1], 覃莉晨[1]

（ 1. 北部湾大学 资源与环境学院, 广西 钦州 535000； 2. 广西益全检测评价有限公司, 广西 柳州 545000 ）

摘 要：田七（ *Panax notoginseng* （Burk.） *F. H. Chen*）是我国一种传统珍贵草本药用植物,其重金属污染问题已引起广泛关注,相关研究表明一定浓度的镉对田七生长会产生抑制,镉胁迫会降低田七主要药效成分皂苷的积累，影响田七药材质量。田七中镉的健康风险评价后认为其危害商数(HQ) 大于 1，说明田七药材中的镉对服用者有非致癌风险。为了揭示田七不同部位对镉毒害的响应,明确不同浓度镉污染对田七体内镉分布的基本特征以及不同部位的富集特性，揭示镉胁迫对田七不同部位的影响机制及富集转移特性。在"田七之乡"广西靖西市田七园以三年生田七为试验材料，土培条件下，以不施镉处理为空白对照，设置 6 个镉浓度梯度（5、10、20、30、40、50 mg·kg^{-1}），分析了在不同浓度镉胁迫下田七不同部位镉积累特征以及转移特性。研究表明：在不同器官（叶、茎、剪口、须根、主根）随着镉浓度的增加各器官镉的积累量均显著（$P < 0.05$）增加，呈正相关关系。田七不同部位镉含量的分布特征表现为：空白对照下田七各器官镉累积分布为：须根>剪口>主根>茎>叶，当镉浓度为 5、10、20、30、40、50 mg·kg^{-1} 时，田七镉分布表现为：剪口>主根>须根>茎>叶；地下部镉含量显著高于地上部镉含量，随着镉浓度的增加，无论地下部生物富集系数还是地上部生物富集系数均成逐渐降低的趋势。

关键词：田七, 镉污染, 累积与分布, 富集系数, 转移系数

中图分类号：S567.23+6　　**文献标识码：**A　　**文章编号：**

Distribution and accumulation characteristics of *Panax notoginseng* under different concenteations of Cadmium Stress

LI Suxia[1], CHEN Yuping[1], WEI Siqi[2], LIN Junliang[1], HE Xiaoshi[1], NONG Yewan[1], QI Yuan[1], QIN Lichen[1]

（ 1. *Resources and Environmental Sciences College, Beibu Gulf University,* Qinzhou ,535000, Guangxi, China; 2. *Guangxi Yiquan Testing and Evaluation Co., Ltd.,* Liuzhou 545000, Guangxi, China)

基金项目：国家自然科学基金（81460580）；广西自然科学基金（2016GXNSFAA380242）；大学生创新创业项目（201811607079）[Supported by the National Natural Science Foundation of China (81460580)；Guangxi Natural Science Foundation （2016GXNSFAA380242）；College student Innovation and Entrepreneurship Program（201811607079）]。

作者简介：李素霞（1976-），女，新疆玛纳斯县人，副教授，主要从事植物营养与生态安全、农田生态修复、海洋海岸带生态修复等研究，（E-mail）zyclsx1122@126.com。

Abstract: *Panax notoginseng* (Burk.) F. H. Chen is a kind of traditional and precious herbaceous officinal plant in our country， its heavy metal pollution problem has already caused wide public concern, related studies have shown that a certain concentration of cadmium can produce inhibition for the growth of it, Cadmium stress can reduce the accumulation of saponins, the main pharmacodynamic component of it, and influence the quality of its medicinal materials. The health risk assessment of cadmium in it showed that the hazard quotient (HQ) was greater than 1, which indicates that cadmium in it has non-carcinogenic risk to users. In order to reveal the response of different parts of *P. notoginseng* to cadmium toxicity, clarify the basic characteristics of cadmium distribution in it by cadmium pollution of different concentrations and the enrichment characteristics of different parts of it, reveal the mechanism of cadmium stress on different parts of it and its enrichment and transfer characteristics. The triennial *P. notoginseng* was used as the experimental material in *P. notoginseng* garden, Jingxi City, Guangxi, under the condition of soil culture, no cadmium treatment was used as the blank control, set 6 cadmium concentration gradients (5, 10, 20, 30, 40, 50 mg·kg^{-1}), the characteristics of cadmium accumulation and transfer in different parts of it were analyzed under the stress of different concentrations of cadmium. The results showed that: cadmium accumulation in different organs (leaf, stem, scissor, fibrous root and taproot) increased significantly with the increase of cadmium concentration ($P < 0.05$), showing a positive correlation. The distribution characteristics of cadmium content in different parts of it were as follows: in the blank control group, the cumulative distribution of cadmium in each organ was: fibrous root>primary root>stem>leaves; when the cadmium concentration was 5, 10, 20, 30, 40, 50 mg·kg^{-1}, the distribution of cadmium in it was as follows: scissor root>fibrous root> stem>leaf. The cadmium content in the underground part was significantly higher than that in the above ground part, with the increase of cadmium concentration, the bioenrichment coefficient of both underground and overground parts decreased gradually.

Key words ： Panax notoginseng, Cadmium stress, accumulation and distribution, enrichment coefficients, transfer coefficients.

田七[*Panax notoginseng* (Burk.) F. H. Chen]又名“三七”， 具有活血散瘀、消肿定痛的功效。是广西、云南的著名特产，是五加科人参属植物，多年生草本。它原系山野自生，很早以前就为我国人民发现和采用， 后转为人工栽培。因为这种植物一般每株有三条叶柄，每条叶柄上往往有七张叶子，故通称“三七”。据清代 1897 年修的《归顺直隶州志》说，“三七以田州产者为最良”（莫乃群，1991）， 清·光绪七年（1881）修的《百色厅志》卷三也说，因三七实出自田州，故“俗名为田七”（莫乃群，1991；徐冬英，1997）。

田七浑身是宝，从花到根全部可以做药食用。《本草新编》："田七根，止血之神药也。无论上、中、下之血，凡有外越者，一味独用亦效"。《中药大辞典》：田七叶有消肿止痛、止血、抗衰老、降低血液粘稠度、防止血栓的形成和预防肿瘤的作用。田七花属于良性，有降压、清热败火、平肝、安神的功效。

云南是我国镉产出大省，年采出量高达 63. 2 t，占全国总产出量的 46. 6%，但从几何平均值来看，除内蒙古、江西省的镉矿含镉率相对较高外，广东、广西、云南和湖南等省的

平均含镉率相差不大，为0.030%~0.050%（袁姗姗等，2012）。 广大科技工作者对文山产区和广西产区田七镉含量进行了调查研究。赵静等（2014）发现云南三七中镉的超标率为30.6%，韩小丽等（2008）认为 Cd 的超标率甚至高达 50%，前期研究表明镉胁迫会降低田七主要药效成分皂苷的积累，影响田七药材质量，降低药效， 朱美霖等（2012）调查表明田七样品中有 60.7%镉含量超标。健康风险评价结果表明，危害商数（HQ）大于 1，说明田七药材中的镉对服用者有非致癌风险，杨海菊等（2008）；陈璐等（2014）对广西百色地区田七叶进行了调查研究，广西田七也有镉超标现象。冯光斌等研究发现，田七对土壤镉有一定的吸收和富集能力（冯光斌等，2006）。研究发现，三七具有较强的 Cd 富集能力及 Cd、Cu 转运能力（林龙勇等，2014；李子唯等，2015）。不仅如此，镉胁迫对植物的生理生化作用、生长抑制作用、微生物及根际微环境等均有消极作用（林晓燕等，2018；贾月慧等，2018；冯世静等，2013）。同时，镉在不同器官的富集特征也有较多研究（赵静等，2014；），但是，由于不同的地理环境、地质背景（李玉兴等，1993）、栽培与管理习惯、生长季节以及七龄的不同表现出不同现象。广西百色市是田七的发源地（黄荣韶等，2007；徐冬英，1997），也是传统的田七生产基地，具有独特的地理环境和栽培习惯，有文献表明（杨海菊，2008）：广西田七与云南三七在须根上差别较为明显，田七须根少而粗，三七须根多，尤其绒状须根多。田七主根呈圆锥形或短圆柱形，而云南三七的主根呈圆锥状或长形。这些不同的特征可能与栽培习惯与地理环境有一定的关系。镉是否对田七生长及不同器官镉的分布产生差异影响，需待进一步研究。

鉴于当前田七-镉探究均着重于大棚内的模拟试验，本研究试验地点原位定点在广西靖西市田农自制实际大棚、选择 7 月至 9 月雨水较多、病虫害频发季节，选择三年七为对象，研究不同镉处理下田七不同器官镉的分配特征以及其转移、富集特性，从而为指导广西田七安全种植、保障田七药材品质和安全提供参考。

1.材料与方法

1.1 试验材料与处理

供试田七为三年生田七，试验地点在靖西市坡天江（青蛇山对面）农户田七园，海拔高度758m，护养管理与当地田七一致。

土培实验所用土壤均采自实际田七园，采用“S”型方法， 取 0-20 cm 耕层土壤，晒干后过 10 目筛，根据对应浓度配置相应的 $CdCl_2$ 溶液，每份溶液喷施于 5kg 干土中充分混匀，装盆。镉处理设 6 个浓度：0，5，10， 20，30，40，50 mg·kg^{-1}。每个处理设置 3 个重复，每个重复种植 3 棵生长状态相似的田七。土培处理时间为 2018 年 7 月 9 日至 2018 年 9 月 9 日。期间管理同当地保持一致。土壤农艺性状为 pH 4.86、有机质 43.30 mg·kg^{-1}、速效氮 178.11 mg·kg^{-1}、速效磷 48.80 mg·kg^{-1}、速效钾 203.70 mg·kg^{-1}、镉本底值 0.44 mg·kg^{-1}。

镉处理平衡一周后采样检测各个处理镉的含量，分别为 0.46，5.07，11.47，20.89，28.53，39.60 ，51.02 mg·kg^{-1}。与处理值拟合，得到方程为 $y = 0.9898x + 0.5182$ ($R^2 = 0.9972$)。

1.2 样品的采集与处理

取整株植株，先用自来水洗去泥垢，再用去离子水冲洗三次并分为叶、茎、剪口、主根、须根等部分，用 105 ℃杀青 30 分钟，再用 65 ℃烘干至恒重。研磨成粉，过 50 目筛待用。

1.3 测定方法

1）农艺性状的测定：茎高(从剪口到花苔的长度)、茎粗(取茎上三点测量取平均值)、叶长(复叶中叶的长度)、叶宽(复叶中叶的宽度)、须根数、根重、叶面积(叶面积=叶长×叶宽×0.6134)。

2）土壤农化性状的测定参考土壤农化分析（鲍士旦，2008）。

3）土壤中镉的测定采用《土壤质量镉的测定 GB T 17141-1997 》石墨炉原子吸收分光

光度法。

4）田七中镉的测定方法采用《食品中镉的测定 GB/T 5009.15-2014》石墨炉原子吸收光谱测定方法。

1.4 数据处理

采用 Microsoft Office Excel 2007 及 DPS 7. 5 进行数据分析，采用 Duncan 新复极差法进行差异显著性分析（$P<0.05$）。

2 结果与分析

2.1 镉胁迫对田七体内镉分布的影响

表 1 田七各部位的镉含量

Table1 Cd content of Cd in different parts of *Panax notoginseng* (mg·kg^{-1})

镉浓度 Cd concentration	叶片镉含量 Cd content in leaf	茎镉含量 Cd content in stem	剪口镉含量 Cd content in rhizoma	须根镉含量 Cd content in fibre	主根镉含量 Cd content in taproot
0	0.20±0.02g	0.38±0.02g	0.64±0.02g	1.39±0.07g	0.44±0.02g
5	0.32±0.03f	1.42±0.04f	6.15±0.04f	4.52±0.04f	5.24±0.01f
10	0.59±0.03e	1.72±0.04e	9.34±0.02e	7.04±0.02e	7.99±0.01e
20	0.87±0.02d	3.08±0.02d	13.24±0.02d	11.32±0.03d	11.34±0.02d
30	1.25±0.02c	4.15±0.04c	24.84±0.01c	13.55±0.02c	14.07±0.02c
40	1.51±0.0b	8.07±0.02b	29.86±0.01b	15.40±0.40b	17.27±0.02b
50	1.71±0.05a	9.41±0.04a	37.83±0.04a	18.33±0.28a	21.80±0.05a

注：不同小写字母表示处理间差异显著（$P<0.05$）。

Note: Different small letters mean significant differences in different treatments （$P<0.05$）.

由表 1 可知，同一器官镉含量，随着镉浓度的增加而显著（$P<0.05$）增加，各部位镉含量随着镉浓度的增加存在一定的差异，当镉浓度 0mg·kg^{-1} 时，田七镉分布表现为须根>剪口>主根>茎>叶，当镉浓度为 5 mg·kg^{-1}、10 mg·kg^{-1}、20 mg·kg^{-1}、30mg·kg^{-1}、40 mg·kg^{-1}、50mg·kg^{-1} 时，田七镉分布表现为剪口>主根>须根>茎>叶。同时，在同一器官不同镉处理下，处理间差异显著，与对照相比，地上部叶和茎镉含量分别是空白处理的 1.60、2.95、4.35、6.25、7.55、8.55 倍；3.74、2.53、8.11、10.92、21.24、24.76 倍。地下部剪口、须根、主根镉含量分别是空白处理的 9.61、14.59、20.69、38.81、46.66、59.11 倍；3.77、5.06、8.16、9.75、11.08、13.19 倍；10.27、18.16、25.73、31.98、39.25、49.55 倍。由此可知，地上部叶片中镉含量的增长与地下部须根中镉含量的增长相对较小。

为了探明镉处理浓度对田七各部位镉积累影响，表 1 是不同浓度镉处理下田七各部位镉的含量。本研究以各部位镉含量为 y，土壤镉处理浓度为变量 x，进行了线性拟合。随着镉浓度的增加，田七叶、茎、剪口、须根和主根均呈显著直线递增趋势，拟合方程分别为：田七叶片（$y=0.0314x+1.023$，$R^2=0.9819$）、田七茎（$y=0.1829x+0.0688$，$R^2=0.9607$）、田七剪口（$y=0.7306x+1.023$，$R^2=0.9813$）、田七须根（$y=0.3184x+3.1842$，$R^2=0.9572$）、田七主根（$y=0.3950x+2.1978$，$R^2=0.9781$）。这说明田七叶片、茎、剪口、须根和主根在吸收累积镉时与不同镉处理成显著正相关。斜率体现不同镉处理浓度下田七各部位镉吸收速率差异。由拟合方程可知，田七叶片、茎、剪口、须根、主根的斜率分别为 0.0314、0.1829、0.7306、0.3184、0.3950，说明田七各器官吸收累积镉的稳定性依次为叶片、茎、须根、主根、剪口。

2.2 镉胁迫对田七各器官富集镉及地上部转移的影响

表 2 田七各部位的富集系数

Table2 Enrichment coefficient of Cd in different parts of *Panax notoginseng*

镉浓度/Cd concentration (mg·kg^{-1})	富集系数 Enrichment coefficient				
	叶 Leaf	茎 Stem	剪口 Rhizoma	须根 Fibre	主根 Taproot
0	-	-	-	-	-
5	0.06	0.28	1.23	1.05	0.90
10	0.06	0.17	0.93	0.70	0.80
20	0.04	0.15	0.66	0.57	0.57
30	0.04	0.14	0.83	0.45	0.47
40	0.04	0.20	0.75	0.38	0.43
50	0.03	0.19	0.76	0.37	0.44

生物富集系数是植物中某元素的质量分数与土壤中元素的质量分数之比，可用来衡量植物对重金属的吸收贮存能力。由表 2 可知，田七各个组织的富集系数都呈现基本相同的特点，即富集系数随着土壤中 Cd 浓度的增加，呈现降低趋势。同一处理不同器官情况下，剪口富集系数最大，在镉处理 5 mg·kg^{-1} 时须根富集系数大于主根，随着镉浓度的增加主根富集系数大于须根。由表 2 可知，在镉处理 5 mg·kg^{-1} 时剪口和须根的富集系数大于 1，且主根的富集系数也达到 0.9，这说明田七地下部对隔的富集能力高于地上部，且以剪口最大。也说明田七富集镉的能力总体来讲相对较弱，而且，不随镉浓度的增加富集能力随着增加。相反，有逐渐降低的趋势。

表 3　镉胁迫下田七的镉转移系数

Table3 Transfer coefficient of Cd in different parts of *Panax notoginseng*

镉浓度 Cd concentration (mg·kg^{-1})	地上部镉含量 Shoot Cd content (mg·kg^{-1})	地下部镉含量 Under ground Cd content (mg·kg^{-1})	转移系数 Transfer coefficient
0	0.29	0.82	0.35
5	0.87	5.30	0.16
10	1.16	8.12	0.14
20	1.98	11.97	0.17
30	2.70	17.49	0.15
40	4.79	20.84	0.23
50	5.56	25.97	0.21

转移系数是地上部镉含量与地下部镉含量之比，表示镉从地下部向地上部转运的效率。由表 3 可知，随着镉浓度的增加，田七转移系数呈波浪式降低趋势，具有不规则性 对照处理镉有较大的转移系数 0.35，不同处理镉的转移系数依次为 0.35、0.16、0.14、0.17、0.15、0.23、0.21，由表 2 和表 3 可知，富集系数与转移系数在一定条件下有对应相关关系。

3 讨论

3.1 镉胁迫对田七体内镉积累分布的影响

不同产地田七各部位重金属含量具有一定差异，可能与当地气温，地理位置，土壤环境，种植点土壤的前作物等生态环境相关，也可能与种苗等遗传因素相关。同一产地的样品，虽然气候环境土壤类型基本相同，但也受到具体生长状况的影响，彼此之间有一定重金属含量的差异（赵静等，2014）。

本研究土壤中镉含量与田七不同器官镉含量呈显著正相关，且田七各器官吸收累积镉的稳定性依次为叶片、茎、须根、主根、剪口。但是，田七不同器官镉累积量存在一定差异，空白处理各器官镉含量表现为须根>剪口>主根>茎>叶片。这个结果与李子唯等(2015）研究结果须根>剪口>主根>叶>茎基本一致。但是，田七叶和茎的镉含量分布不同。不过，与陈璐等(2014)在这方面的研究一致，他们的研究表明，镉在田七叶和茎的分配表现为田七茎镉含量大于田七叶的镉含量。镉处理 5、10、20、30、40、50 mg·kg^{-1} 各器官镉含量表现为剪

口>主根>须根>茎>叶片，这个结果与黄荣韶等（2014）研究结果一致。不同镉处理各器官镉含量存在一定的差异。可能存在的原因为：第一、广西田七与云南三七在区域上有一定的差异，导致温度、水分、蒸发、蒸腾、养分、盐基、海拔高度等有一定的差异。第二、本次研究在实地进行，生长环境与护养管理与当地一致（专门邀请当地田农一起看护），对生长环境没有控制特别的温度、水分，这与一些研究工作者专门植于专业大棚有一定的差异。第三、本次研究时间为 2018 年 7 月 9 日至 2018 年 9 月 9 日正值病虫害、雨水及杂草最多的季节，田七园有一定的积水没能及时排出，可能会对镉的运输与体内积累存在一定的影响。第四、不同海拔、不同遮光率、不同荫棚类型及不同七龄对田七各器官镉积累也有一定的影响。第五、不同的七龄可能会导致在吸收和积累重金属及其它元素时有一定的差异，本次研究为三年七，与一些学者在实验时用的二年七有一定的区别，这也是导致差异的主要原因，因为大多数植物在不同的生长周期对矿质元素的吸收、转移与积累均存在一定的差异。

3.2 镉胁迫对田七各器官富集镉及地上部转移的影响

本实验研究范围内，田七叶片、茎、剪口、须根、主根的富集系数均随着镉浓度的增加而呈降低的趋势，这与朱美霖等（2014）研究结果基本一致。不同器官表现为剪口最大、其次是须根和主根。在 5 mg·kg^{-1} 镉处理时须根富集系数大于主根，在镉处理 20，30，40，50 mg·kg^{-1} 范围内，主根富集镉的系数逐渐大于须根，在 20 mg·kg^{-1} 镉处理时，二者富集系数相同。田七叶片的富集系数最小，这些现象与众多研究者不一致，有些研究结果表现为不同器官镉的富集系数须根>剪口>主根>叶片>茎，主要原因在于茎为疏导组织，不能储存镉，须根表面积大又是直接吸收部位，故其结合态和吸附态镉含量均较高。但也有研究发现田七茎对镉的富集能力最强有出入，这可能是由于实验方法、七龄、及过程管理有关。实地调研表明，广西百色靖西市田七不施用化学肥料，全程肥料均为有机肥料，当地七农反映百色田七与其它田七有一定的不同，施用化学肥料田七容易死亡、烂根等不良症状，因此，一直施用有机肥。本研究中转移系数呈波浪式或不规则趋势，但镉胁迫下转移系数均低于空白。总体趋势来看，随着镉浓度的增加转移系数有相对增加的趋势。富集系数与转移系数在一定条件下有对应相关关系，这与一些学者研究重金属铅在茴香的转移有一定的相似之处(甘龙等，2018)

4.结论

（1） 镉胁迫显著增加田七各器官中的镉含量，随着镉浓度的增加，田七各器官中镉含量显著增加，呈正相关性。

（2）空白对照设置下，田七各器官镉分布表现为须根>剪口>主根>茎>叶；当镉浓度为 5 、10、20、30、40、50 mg·kg^{-1} 时，田七镉分布表现为 剪口>主根>须根>茎>叶片。

（3）地下部镉含量显著高于地上部镉含量，随着镉浓度的增加，无论地下部生物富集系数还是地上部生物富集系数均成逐渐降低的趋势。

参考文献

BAO SD, 2008. Soil agrochemical analysis[M]. 2nd ed. Beijing: China Agriculture Press: 25-120. [鲍士旦．2008，土壤农化分析[M]．第三版．北京：中国农业出版社：25-120．]

CHEN L, MI YH, LIN DH, et al., 2014. Investigation and analysis of heavy metal pollution related to soil-*Panax notoginseng* system[J]. Chin J Chin Mat Med, 39(14): 2608-2613. [陈璐，米艳华，林昕，等，2014. 土壤-三七系统重金属污染调查及相关分析[J]．中国中药杂志 39（14）：2608-2613．]

CLIJSTERS H, VAN ASSCHE F. Inhibition of photosynthesis by heavy metals[J]. Photosynthesis Research, 1985(7): 31-40.

FENG SJ, YANG TX, ZHANG YJ, et al., 2013. Effects of cadmium on photosynthetic gas exchange and chlorophyll fluorescence of two species of poplar[J]. J Agro-Environ Sci, (3): 539-547. [冯世静，杨途熙，张艳军，等．2013.镉胁迫对杨树光合特性的影响[J]．农业环境科学学报，(3)：539-547．]

Feng GQ, Liu YZ, Zhang WB, et al., 2006. Residual characteristics research of heavy metal in *Panax notoginseng* plant[J]. J Chin Trad Pat Med, 28 (12): 1796-1798. [冯光泉，刘云芝，张文斌，等．2006. 三七植物体中重金属残留特征研究[J]．中成药，28(12)：1796-1798．]

GAN L, LUO YH, WANG LQ, et al., 2018. Biomass and photosynthetic characteristics of *Abutilon theophrasti* under different concentrations of Pb stress[J]. Guihaia, 38(6): 737-745. [甘龙，罗玉红，王林泉，等．2018. 土壤铅胁迫对苘麻光合特性及生物量的影响[J]． 广西植物，38(6)：737-745．]

HAN XL, ZHANG XB, GUO LP, et al., 2008, Statistical analysis of residues of heavy metalsin Chinese crude drugs[J]. Chin J Chin Mat Med, 33(18): 2041.[韩小丽，张小波，郭兰萍，等． 2008，中药材重金属污染现状的统计分析[J]．中国中药杂志，33(18)：2041．]

HUANG RSH, YANG HJ, HUANG ZHT, et al., 2014. Determination of Heavy Metalsand Trace Elements of *Panaxnotoginseng*[J]. J Guangxi Academy Sci, 30(4): 281-284. [黄荣韶，杨海菊，黄政棠，等， 2014．田七药材重金属及微量元素含量分析[J]．广西科学院学报，30（4）：281-284．]

JIA YHi, HAN YY, LIU J, et al., 2018. Physiological adaptations to cadmium stresses and cadmium accumulation in lettuce[J]. J Agro-Environ Sci, 37(8): 1610-1618. [贾月慧，韩莹琰，刘杰，等．2018.生菜对镉胁迫的生理响应及体内镉的累积分布[J]．农业环境科学学报，37（8）：1610-1618．]

LIN XY, MOU RX, CAO ZY, et al., 2018. Proteomics of butachlor-degrading bacterium Sphingobacterium thalpophilum under cadmium stress[J]. J Agro-Environ Sci, 37(12): 2738-2745．[林晓燕，牟仁祥，曹赵云，等．2018．镉胁迫下嗜温鞘氨醇杆菌降解丁草胺的蛋白质组学研究[J]．农业环境科学学报，37（12）：2738-2745．]

LI ZW, YANG Y, CUI XM, et al., 2015. Physiological response and bioaccumulation of *Panax notoginseng* to cadmium under hydroponic[J]. Chin J Chin Mat Med, 40(15): 2903-2909. [李子唯，扬野，崔秀明，等，2015． 三七对镉胁迫的生理响应及富集特性研究[J]．中国中药杂志，40（15）：2903-2909．]

LIN LY, YAN X L, LIAO X Y, et al., 2014． Accumulation of soil Cd，Cr，Cu，Pb by *Panax notoginseng* and its associated health risk[J]． Acta Ecol Sin，34(11) : 2868-2875．[林龙勇，阎秀兰，廖晓勇，等． 2014.三七对土壤中镉、铬、铜、铅的累积特征及健康风险评价[J]．生态学报，34(11) : 2868-2875．]

MO NQ, 1991. Selection of materials of Guangxi local records(next volume)[M]. Nanning: Guangxi People Press:831-869. [莫乃群，1991. 广西方志物产资料选编（下册）[M]．南宁：广西人民出版社：831-869．]

XU DY.1997. Tian Qi's ancient origin and distribution center[J]. J Chin Med Mat，20(12)：637-639.[徐冬英，1997. 田七的古代产地及集散地[J]．中药材，20（12）：637-639．]

YUAN SS, XIAO XY, GUO CH, 2012. Regional distribution of cadmium minerals and risk assessment for potential cadmium pollution of soil in china[J]. Environ Poll Contr, 34(6): 51. [袁珊珊，肖细元，郭朝晖, 2012，中国镉矿的区域分布及土壤镉污染风险分析[J]．环境污染与防治，34(6)：51．]

ZHAO J, LIU Y, ZHANG AJ, et al., 2014. Determination and analysis of heavy metals content in

Panax notoginseng of different origination[J]. Chin J Chin Mat Med, 39(20):4001-4006. [赵静，刘勇，张艾华，等．2014．不同产地三七中重金属元素的含量测定及分析[J]．中国中药杂志，39（20）：4001-4006．]

ZHU ML, CHEN ZJ, JIANG Y, et al., 2014. Cadmium stress of soil on cadmium enrichment in different tissues and its main active compositions of *Panax notoginseng*[J]. Chin Tradit Pat Med, (02): 342-347. [朱美霖，陈中坚，姜阳，等．2014．外源土壤 Cd 胁迫对三七富集及其药效成分的影响[J]．中成药， (02)：342-347．]